超深大基坑支护设计原理及三维有限元数值分析

何首文

(山西一建集团有限公司,侯马 043003)

【摘 要】随着我国经济的高速发展,城市可以利用的空间越来越少,这就要求更多的建筑开始向地下发展,深基坑支护在城市建设中频繁使用,如何保证深基坑的安全性、合理性已经成为深基坑设计中的重要问题。本文结合工程实例,利用岩土计算软件理正深基坑7.0和有限元分析软件Midas-GTS对基坑的安全性进行分析,其支护结构设计和三维有限元分析结果其分析结果可为优化设计和施工提供有益参考,为类似工程提供借鉴。

【关键词】深基坑;支护;理正;有限元模拟

【中图分类号】TU472 【文献标识码】A 【文章编号】1674-7461(2016)01-0075-05

【DOI】10.16670/j.cnki.cn11-5823/tu.2016.01.13

1 引言

深基坑支护结构的最根本要求就是“安全、造价低、施工方便”,这是全面考察主体结构的表现,如水位高低的波动、现场环境的变动等。将多种支护结构设计相对比,从中选择最适合该施工情况的支护形式[1-4]。由于深基坑工程属于危险性工程,稍有不慎,将对人们的生命安全和财产安全造成严重影响,其造成的后果不可估量[5-8]。因此,在深基坑开挖的过程中,需要充分考虑基坑开挖造成的位移和稳定性,尤其是深大基坑的施工;在基坑开挖过程中如何对保证深基坑开挖的位移和稳定性成为其施工最大难点。

2 工程概况

该深大基坑工程位于山西省某地,该项目拟建3栋商住楼,其中中心塔楼25层,基坑边裙楼6层,地下室3层。本基坑的土层以粉土和砂土居多,岩土参数见表1。故本基坑需充分考虑水文地质条件和经济成本原因,结合专家意见,选取钻孔灌注桩方案,采用直径为钻孔灌注桩,其间距为1 250mm,外加三轴搅拌桩。为了防止由于基坑开挖引起的钻孔灌注桩侧向位移过大、地基土变形,合理确定基坑的开挖工况、支撑的程序尤为重要。深基坑的开挖深度与最下道钢支撑到坑底的距离不能过大。在全面整合研讨之后,可以四步来竖向开挖深基坑,配置3道钢支撑,支撑材料则选取直径为106mm,壁厚16mm的钢管。深基坑支护平面布置见图1所示。

岩土参数力学表如表1所示。

3 深基坑支护原理分析

利用有限元方法来计算板桩结构的原理及模式如图2所示,它的主要原理是将弹性地基梁绕中心位置旋转90°,然后将挖面以上的土体弹簧单元移动到非工作结构处。墙后具有支撑墙体的结构,该结构在支撑的过程中同时受到主动土压力的作用,对于墙体前需要被施工的土及钢结构的支撑结构为弹性地基。根据就近单元原则对墙体上的土承受的压力进行排列划分,从而将单元简化为单元节点上的一点,然后对该点的集中力载荷进行分析。对于同样区域的土下部分土体的弹簧载荷分析的原理与墙体相似,也是对土体的就近单元进行

【作者简介】 何首文(1976-),男,工程师。主要从事建筑工程检测工作。

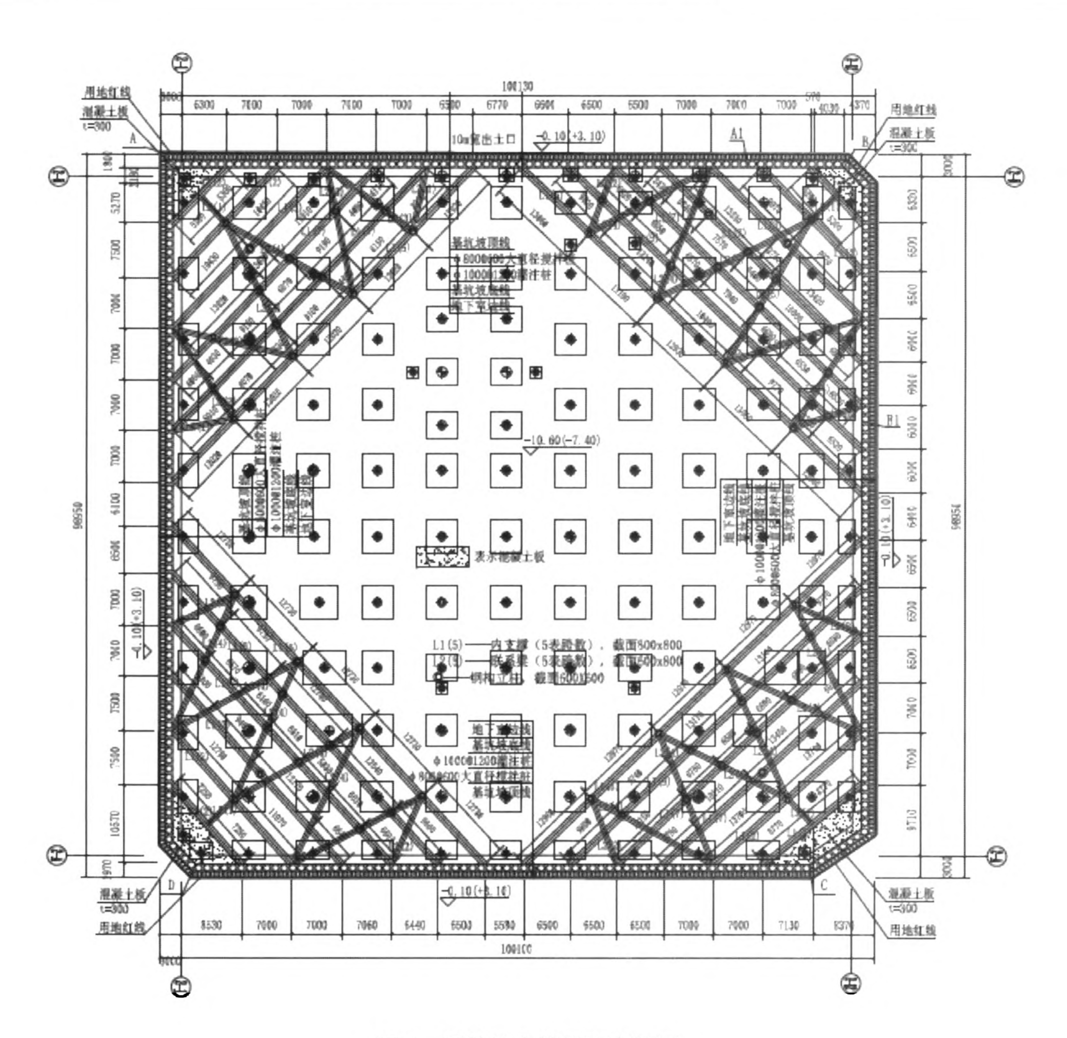


图 1　深基坑支护平面布置图

表 1　岩土参数力学表

土层名称	重度 r (kN/m^2)	含水量 W (%)	凝聚力 C (kPa)	内摩擦角 Φ (度)	变形模量 E(MPa)
(1)杂填土(松散)	18	—	10	10	8
(2)淤泥质土(流塑)	16.8	47.1	6	4	2
(3－1)粉细砂(松散～稍密)	18	—	0	24	15
(3－2)中粗砂(稍密～中密)	19	—	0	28	35
(5)全风化泥质粉砂岩(呈坚硬土状)	20	—	40	28	60
(6)强风化泥质粉砂岩(半岩半土状)	21	—	60	30	120
(7)中风化泥质粉砂岩(呈块状、短柱状)	22	—	150	31	500
(8)微风化粉细砂岩、粗砂岩(岩芯呈短柱状、柱状)	23	—	200	33	1000

划分，然后将载荷分析简化为对某个节点的集中力荷载分析，其节点上承受弹性支撑力，然后利用有限元的相关原理和计算方法来对支护墙体进行载荷研究和稳定性分析，如图 2 所示。

上述的分析过程可以简要地表述如下：首先将分析土域的土体以及其支撑架构当作弹性支撑，然后利用墙体与支撑结构的共同协调作用可知，它们将同时变形，因此利用同时变形的原理对支护结构的分析结果是相对比较准确的。

排桩加内支撑的结构形式确定基坑开挖施工

工况是确保工程进行的前提,根据在实际施工过程中的基坑开挖的进度情况以确定支护结构开挖过程中的受力计算简图。

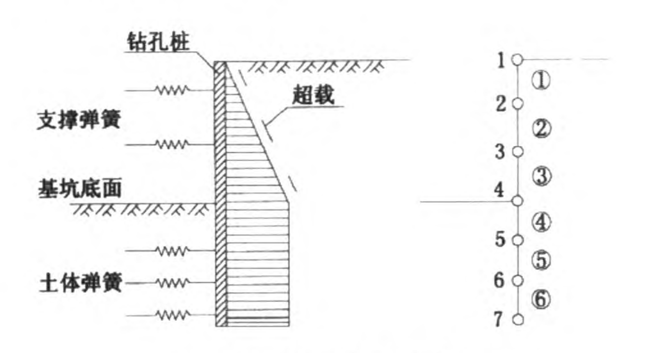


图 2　深基坑有限元计算模式

4　深基坑支护有限分析

土体主要由固体、液体、气体三相结构组成的一种复杂体,土体的本构关系主要是指其对应的应力与应变之间的关系。土体的组成元素相对比较复杂同时成分之间的离散性较大,由于元素之间的物理性能差距较大,因此对于土体整体来说其具有非线性、粘塑性等物理性质。国内外对土体的本构关系研究已经有几十年的经验了,在相关的研究理论的发展中专家提出了上百种关于土体本构的研究模型,并且在实际的工程应用实践中将已经成熟的研究理论引入了进去。同时人们利用先进的计算机编程的方式来建立相关的数学模型,逐步引入数值分析技术以解决一些工程中的实际问题。在土体相关关系从理论研究发展到实际的应用过程中,成熟的理论及研究模型要被人们认可并且应用实践中是十分有限的。

4.1　深基坑开挖有限元模拟过程

该施工模拟过程主要分三步进行,其在开挖过程中主要采用“空单元”法来进行。其主要的计算过程及步骤如下:

对深基坑施加足够重力载荷的同时计算其初始的应力场和位移场。如图 3 所示。

第一次开挖的深度为 1.2m,开挖过后的深基坑单元用“空单元”来表示,并对该过程中产生的应力场和位移场进行分析和计算。

设置第一道支撑,第二次开挖的深度为 6.7m,开挖过后的深基坑单元用“空单元”来表示,并对该过程中产生的应力场和位移场进行分析和计算。

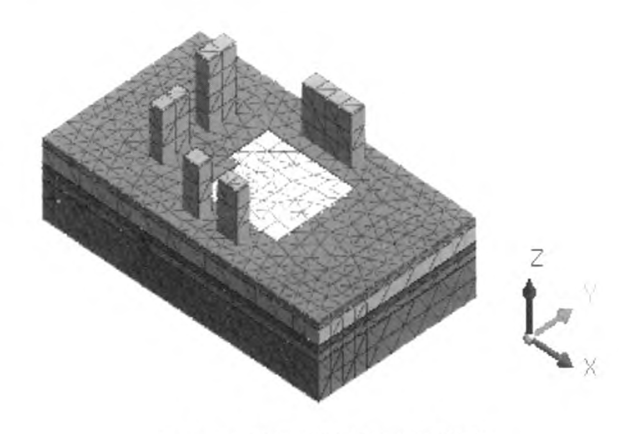


图 3　深基坑支护有限分析模型

设置第二道支撑,第三次开挖深度为 12.2m,开挖过后的深基坑单元用“空单元”来表示,并对该过程中产生的应力场和位移场进行分析和计算。

设置第三道支撑,第四次开挖深度为 15.5m,开挖过后的深基坑单元用“空单元”来表示,并对该过程中产生的应力场和位移场进行分析和计算。

4.2　深基坑开挖有限元分析结果

从图 4 的位移图中分析可知,围护桩支付体系的水平位移在一定的范围内,本次模拟试验中其水平位移在 30m 以内,其中第一次开挖过程中其基本不发生水平位移,第二次开挖过程中其可能产生在坑底处 8mm 左右的水平位移,第三次开挖出现的水平位移高达 18mm,本次水平位移发生的位置集中在距离坑深 6m 左右的位置,而到了第四次开挖,本次产生的水平位移达到了 23mm 左右,该水平位移主要发生在距离坑底 8m 处。

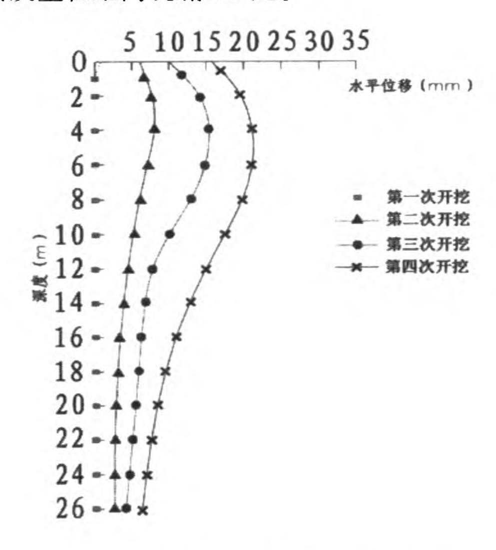


图 4　深基坑支护结构水平位移对比图

各次开挖过程中围护桩的弯矩会发生如图5的变化。

在具体的工程实践应用中，如本次的深基坑开挖工程中围护桩承受土体的水平载荷而发生的弯矩会随着开挖深度的加深而不断增大，同时支撑土体的支撑结构受到的弯矩也在不断增加，通过以上的分析我们知道最大弯矩值发生在第四次开挖过程中，其值为 -1839KN/m，将该弯矩值与围护桩所能承受的弯矩极限值比较，整个开挖过程中围护桩的结构性能基本上能得到保障。同时在施工过程中不断增加开挖深度，其支撑的支护桩的正、负向的弯矩也会不断地增大，因此为了保障施工过程的安全性，必须增加施工的截面尺寸，同时向支护桩中配置钢筋以增强其支撑力，另外围护桩中的双向配筋也能起到对施工过程中的安全性能加固的作用，能够充分抵抗桩身弯矩的变化而产生的影响。

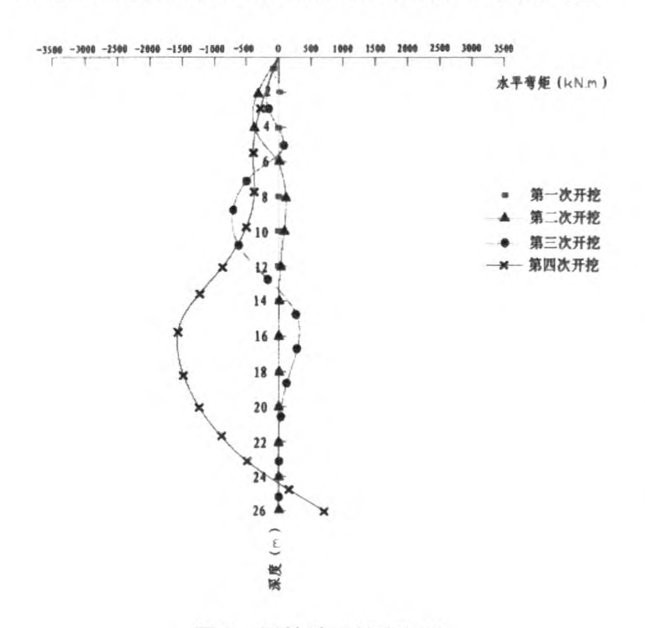


图5 围护桩开挖弯矩图

同时对于支护桩的安装也需要满足一定的安全要求，如支护结构应该埋深的深度问题，如果埋深的深度增加其支护桩的侧向位移将会减少。当支护桩的埋深深度得到了保障后，在施工过程中其发生的最大位移一般处于开挖面附近，因此如果此时继续对支护结构增加埋深深度，其起到的抵抗基坑变形的能力并不会得到明显的提高。

通过国内外相关专家的不断研究，发现在保证基坑底部不隆起以及支护桩的埋深深度满足条件最小的情况下，其围护桩的位移量与支护桩的埋深深度并没有太大的关系。因此在选择支护桩的埋深深度的时候主要考虑其正、负向的弯矩值，以保证其在施工过程中能够充分利用材料实现对桩的优化设计。

在开挖过程中深基坑底部出现隆起的主要原因是在土体卸载过程中其原始的应力状态发生了相应的变化。在整个开挖过程中其隆起值的曲线图如图6所示。从图中可以知道其基坑中心为水平距离的零点，基坑的总宽度为18m。

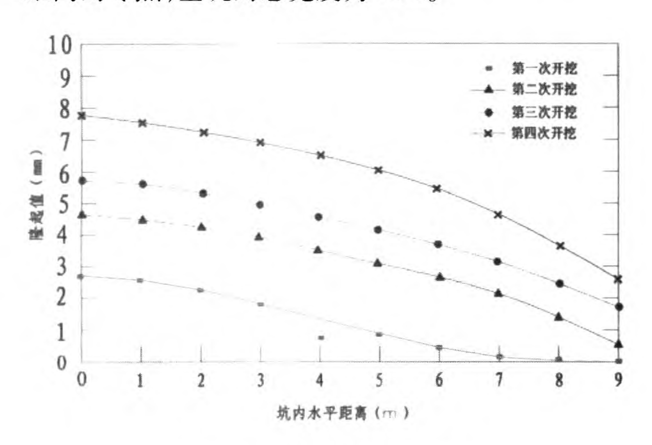


图6 基坑坑底隆起量图

通过对图6的曲线图分析可知，基坑底部的隆起量会随着开挖深度的增加而不断增加，大约在基坑深度的中间位置其发生的隆起量最大，基坑侧壁依靠围护桩的保护以及约束因此其隆起量相对较小而忽略。第四次开挖过程中基坑深度的中间位置的隆起量为7.86mm，本次的工程实践中坑底隆起量的变化基本上是均匀的，没有出现较大幅度隆起起伏。因此整个施工过程中坑底隆起处于弹性工作状态，整个工程环境安全不会因为隆起而发生基坑破坏。

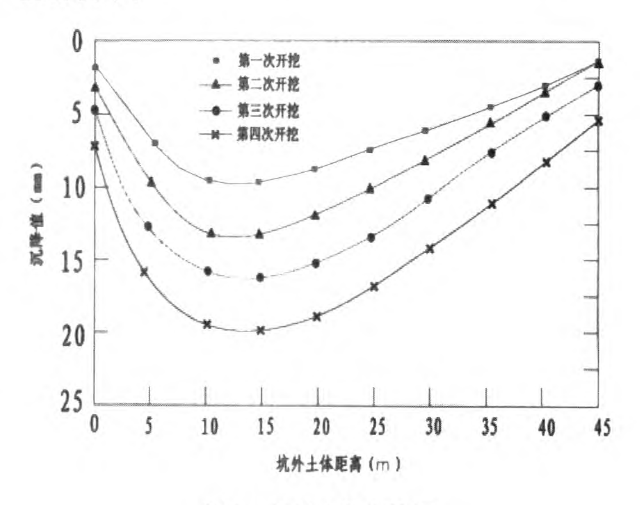


图7 桩外土体沉降图

施工中围护桩外部的土体产生的变形曲线图如图 7 所示。

5 结论

在水平压力的作用下开挖后的基坑会使其支撑的围护桩发生一定的变形，从而使得整个施工区域除围护桩以内的土体出现沉降，随着开挖深度的深入，土体的沉降量越来越大，其最大的沉降量为 21mm，而靠近桩附近的土体因为受到围护桩或者支护桩的保护其沉降量不明显；反之施工土体距离基坑越远开挖效果对其沉降的影响也越小，其在坑深 3 倍处位置的变形量区域平稳。

水的因素是影响基坑安全的性的最重要的影响，本文在建立有限元分析模型时对水位进行了设置，研究在水位变化的情况下基坑围护结构的位移和基坑外侧土体的沉降。

参考文献

[1] 吴西臣，徐杨青. 深厚软土中超大深基坑支护设计与实践[J]. 岩土工程学报，2012，S1：404-408.

[2] 陈建国，胡文发. 深基坑支护技术的现状及其应用前景[J]. 城市道桥与防洪，2011，01：91-94 + 9.

[3] 杨佳，张强勇，刘德军，张宁，段抗. 高层建筑深大基坑支护稳定性评价与监测分析[J]. 人民长江，2010，14：90-93.

[4] 赵书宁. 某深大基坑支护体系应用研究[J]. 广东土木与建筑，2010，11：43-46.

[5] 魏培根. 多种支护形式并用的深大基坑支护实例[J]. 甘肃科技，2014，01：107-111.

[6] 黄涛，段晨辉，姜凤飞. 复杂环境下深大基坑支护工程设计实例[J]. 岩土工程学报，2014，S1：86-90.

[7] 乔景顺，齐平. 深大基坑支护设计分析[J]. 河南大学学报(自然科学版)，2013，02：212-215 + 220.

[8] 田仕文，周长海，赵鹏. 滨海浅滩地区土岩组合地层深大基坑支护技术[J]. 施工技术，2013，08：79-81 + 85.

Super Deep Foundation Pit Supporting Design Principle and the Three-dimensional Finite Element Numerical Analysis

He Shouwen

(*Shanxi First Construction Group Co., Ltd., Houma* 043003, *China*)

Abstract: Along with the rapid development of economy in our country, the space that a city can take advantage of becomes less and less. Thus, it is necessary to develop underground buildings, using deep foundation pit supporting. How to guarantee the security and the rationality of the deep foundation pit has become the important problem in the design of deep foundation pit. Based on the engineering example and using the calculation software of geotechnical principle of deep foundation pit and the finite element analysis software Midas GTS-7. 0 to analyze the security of foundation pit, its analysis results can provide reference for optimization design and construction of similar projects.

Key Words: Deep Foundation Pit; Support; Richard; Finite Element Simulation